

透磁率を精密に制御可能な高周波メタマテリアル

High-frequency metamaterials capable of precisely controlling permeability

雨宮 智宏^{1,2*}, 高木 茉佑³, 各務 響², 岡田 祥², 西山 伸彦^{1,2}*T. Amemiya^{1,2*}, M. Takagi³, H. Kagami², S. Okada², N. Nishiyama^{1,2}東京工業大学 科学技術創成研究院 未来産業技術研究所¹ 工学院 電気電子系²トヨタ自動車株式会社 モビリティ材料技術部³¹Institute of Innovative Research, ²Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Tokyo Institute of Technology³Mobility Material Engineering Div., TOYOTA MOTOR CORPORATION*E-mail: amemiya.t.ab@m.titech.ac.jp

1. はじめに

メタマテリアルは、「金属で構成された微細な電気回路 (RLC 回路) の集合体」であり、構成要素となるナノ構造を適切にデザインすることで、誘電率や透磁率の値を人工的に制御することが可能となる [1]。高周波 (特に可視域) におけるメタマテリアル構造として多分割スプリットリング共振器や fishnet 構造などが提案されているが、いずれも特定の周波数において所望の透磁率を得るためには数ナノオーダーの精細な構造設計が必要となる [2]。今回、高周波において透磁率の値を精密に制御可能なメタマテリアル構造を提案したので、それについての詳細を述べる。

2. 井桁型メタマテリアルの提案と理論解析

本研究で提案したメタマテリアルの構造を Fig. 1(a) に示す。本構造は 4 本の金属細線を積層した井桁型構造となっており、構造の中央がリアクタンス (L) として、1 層目と 2 層目の金属細線が重なっている箇所周辺がキャパシタンス (C) として機能する。本構造では、Fig. 1(b) に示すように、各層における金属細線の間隔 a を変化させると、 L と C の値が互いに相反して変化する。これにより、メタマテリアルの共振周波数 ($\omega = 1/\sqrt{LC}$) は a に対して極めて小さい変化量を示すため、透磁率の値を精密に設計することが可能となる。

Fig. 2 に、本構造における S パラメータ (S_{21}) の計算結果を示す。解析においては、金属細線の間隔 a のみを変化させており、その他のパラメータは一定値とした。これにより、450 THz 近傍の可視域 (赤色) において、 a を 45 nm から 95 nm まで変化させた際に、LC 共振周波数 (=透磁率が大きく変化する周波数) は 30 THz 程度シフトした。

上記結果をもとに、透磁率を導出した結果を Fig. 3(a) に示す。ここで、対象周波数を 410 THz に設定した場合、透磁率を 0 から 0.5 まで変化させるために、 a には約 40 nm もの変化幅が許容されており (Fig. 3(b))、これにより透磁率の値を精密に制御可能となる (4 分割スプリットリング共振器を用いた場合は、2-3 nm の変化幅しか許容されない)。

謝辞: 本研究は、JSPS 科研費 (#19H02193), JST-CREST JPMJCR15N6, JPMJCR18T4) の援助により行われた。

参考文献

[1] Y. Liu, X. Zhang, Chem. Soc. Rev. **40**, 2494 (2011).

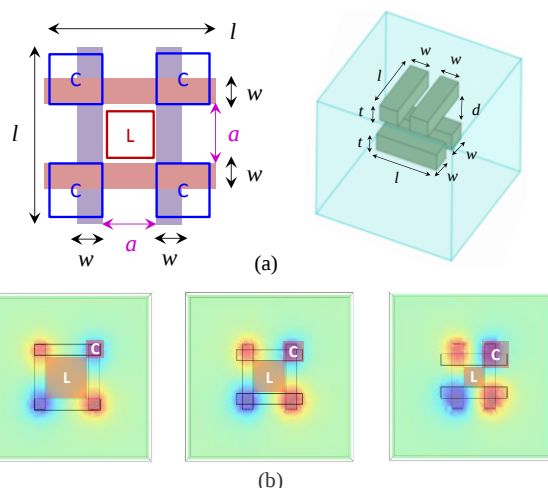


Fig. 1. (a) High-frequency metamaterials capable of precisely controlling permeability. (b) Typical electric field E_y around proposed metamaterial.

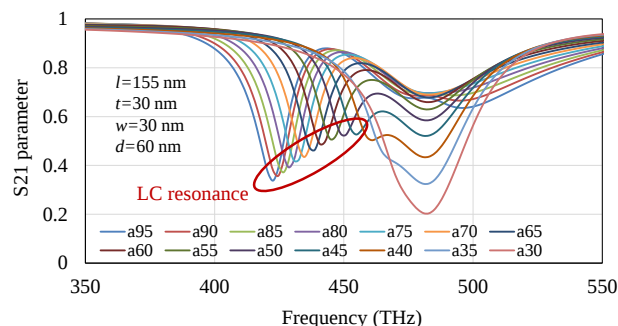


Fig. 2. S-parameters for each metamaterial with different value of a .

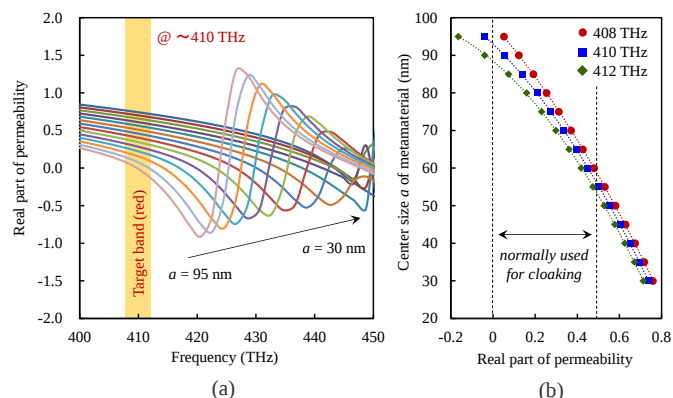


Fig. 3. Permeability for each metamaterial with different value of a .

[2] W. Cai and V. Shalaev, *Optical Metamaterials Fundamentals and Applications*, Springer (2014).